

## УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИНХРОННОГО ФІЛЬТРА У ПРИБОРАХ ТАКОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ

*Колчар В. М., аспірант; Лісовий І. П., д.т.н., професор*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, м. Одеса, Україна*

В даний час в Україні розбудовуються телекомунікаційні мережі нового покоління (NGN) і при об'єднанні різноманітних цифрових телекомунікаційних систем і систем розподілу інформації, важливе значення має точність та завадостійкість пристроїв тактової синхронізації.

Відомо декілька методів, що дозволяють підвищити завадостійкість пристрою тактової синхронізації. До них відносяться використання зворотного зв'язку за частотою, слідкуючих  $LC$ -контурів з вузькою смугою пропускання, регенеративних дільників частоти і синхронно-фазових детекторів.

Однак, можливість використання синхронного фільтра (СФ) у пристроях тактової синхронізації не досліджено, у зв'язку з невизначеністю умов, необхідних для використання його в якості слідкуючого фільтра.

Синхронний фільтр може бути застосованим в якості слідкуючого фільтра пристрою тактової синхронізації за умови повільного відхилення миттєвої частоти сигналу тактової синхронізації і закінчення перехідних процесів у СФ за період часу, протягом якого відбуваються дані відхилення.

Миттєва частота сигналу тактової синхронізації, що дорівнює швидкості зміни фази визначається з виразу [1, 2]

$$\omega(t) = d\psi(t)/dt = \omega_0 + d\Theta/dt = \omega_T + \omega_B \cdot \cos\Omega t, \quad (1)$$

де  $\omega_B = 2\pi f_d$  – відхилення тактової частоти,  $\omega_T = 2\pi f_T$  та  $\Omega = 2\pi F$  – відповідно тактова та частота відхилення.

Для того, щоб вважати функцію  $\Theta(t)$  повільною функцією часу, необхідно, щоб зміна частоти за один цикл  $T = 2\pi/\omega_T$  була малою в порівнянні з частотою  $\omega(t)$  в даний момент часу.

Враховуючи, що  $\omega(t)$ , як правило, мало відрізняється від  $\omega_T$  та задавши умову  $\omega_B\Omega \ll \omega_T^2$ , отримано вираз:

$$\omega_B\Omega \ll \omega_T^2/(2\pi). \quad (2)$$

Із (2), при підстановці індексу модуляції  $m = \omega_d/\Omega$ , випливає, що також повинна виконуватися умова

$$m \ll \omega_T^2/(2\pi\Omega^2). \quad (3)$$

В системах тактової синхронізації цифрових систем передачі нерівності (2), (3) завжди витримуються. Це означає, що тактова частота змінюється настільки повільно, що в межах декількох періодів її зміну можна вважати синусоїдальним законом.

Для визначення умов закінчення перехідного процесу в СФ, припустимо, що вхідний сигнал надходить до ємності протягом часу  $\Delta t = T/N$ , де  $N$

– кількість ємностей СФ,  $T$  – період комутації, а також, що дана напруга за проміжок часу  $\Delta t$  не змінюється. Останнє припущення узгоджується з умовою «повільності» зміни частоти сигналу тактової синхронізації і дозволяє вважати, що при кожному замиканні комутатора на  $RC$  коло впливає прямокутний імпульс.

Якщо аперіодичний перехідний процес закінчується, коли  $U_{C\Phi}[n, 1/N]$  відрізняється від  $U_{\max}$  не більше ніж на 5%, кількість періодів комутації  $n$  може бути знайдено з умови [3]

$$\delta = [U_{\max} - U_{C\Phi}(n, 1/N)] / U_{\max} = e^{-\frac{\beta}{N}(n+1)} \leq 0,05. \quad (4)$$

З виразу (4) випливає, що  $\beta(n+1)/N \geq 3$ , звідки

$$n \geq n_0 = (3N / \beta) - 1 \approx 3N / \beta = 3NRC / T = 3\tau / \Delta t, \quad (5)$$

де  $\tau = RC$ ,  $n_0$  мінімальна кількість періодів комутації.

Отже вираз для  $n_0$  на першій гармоніці ( $k = 1$ ), що пов'язує тривалість перехідного процесу зі смугою пропускання та добротністю СФ:

$$n_0 = 3/(\Delta\omega \cdot T) = 3Q_{C\Phi} / \pi. \quad (6)$$

З виразу (6) випливає, що кількість періодів комутації, після якої настає сталий процес, обернено пропорційна ширині смуги пропускання СФ (прямо пропорційна добротності СФ).

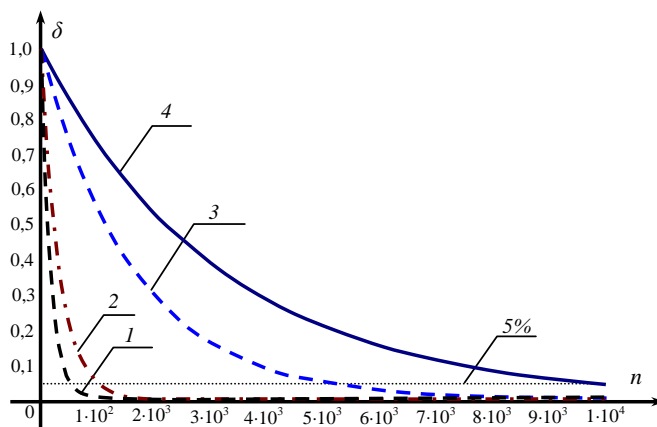


Рисунок 1. Залежності  $\delta = f(n)$  при  $n_0 = \text{const}$ :

- 1)  $\tau/\Delta t = 167$ ; 2)  $\tau/\Delta t = 333$ ;
- 3)  $\tau/\Delta t = 1667$ ; 4)  $\tau/\Delta t = 3185$

Аналіз рис. 1 показує, що найменші значення  $n_0$  будуть належати інтервалу

$$n_0 \in [500, 9549]. \quad (7)$$

Це дозволяє зробити висновок, що збільшення відношення  $\tau/\Delta t$  може бути обмежено значно меншим інтервалом без впливу на встановлення процесів у СФ.

Якщо СФ застосувати, наприклад, в тракті тактової синхронізації системи передачі з  $f_T = 2,048$  МГц і відхиленням частоти  $f_B = \pm 102,4$  Гц, то  $n_0$ ,

Згідно рекомендації ІТУ-Т G.703 «Фізичні та електричні характеристики ієрархічних цифрових інтерфейсів» швидкість передачі первинного цифрового потоку 2048 кбіт/с  $\pm 50$  ppm, таким чином допускається відхилення частоти сигналу  $\Delta f = \pm 102,4$  Гц.

На рис. 1 наведено графіки залежності  $\delta = f(n)$ , розраховані за формулою (4), що визначають відхилення  $U_{C\Phi}$  від  $U_{\max}$ , для різних значень відношення  $\tau/\Delta t$  і  $n$ .

визначене за формулою (6) складе  $n_0 = 9549$ . Даному  $n_0$  при  $\tau/\Delta t = 3000$  відповідає відхилення напруги  $U_{CF}$  від  $U_{max}$   $\delta = 0,05$  що є цілком задовільним для практичних цілей. Таким чином, конкретне значення  $\tau/\Delta t$  мінімальної кількості періодів комутації без істотного збільшення похибки може визначатися з виразу (5).

В роботі отримано умови (2) і (6), одночасне виконання яких дозволяє використовувати СФ в якості слідкуючого фільтра пристрою тактової синхронізації цифрової системи передачі:

$$\begin{cases} \omega_B / \omega_{T_0} \ll 2n_0 / 3; \\ m \ll 2n_0 \omega_{T_0} / (3\Omega_{max}); \\ t_{ПЕР \min} \gg 3\pi m \Omega_{max} / \omega_{T_0}^2. \end{cases} \quad (8)$$

Так як  $\omega_B \ll \omega_{T_0}$  та  $\omega_{T_0} \ll \Omega_{max}$  можна стверджувати, що при використанні СФ в якості смугового або слідкуючого фільтра нерівності (8) завжди виконується.

Аналіз одержаних співвідношень показує, що синхронний фільтр може бути застосований в трактах тактової синхронізації ЦСП в якості смугових і слідкуючих фільтрів.

#### **Перелік посилань**

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк. 1988. – 448с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 512с.
3. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем, – М.: Физматгиз, 1963. – 968с.

#### **Анотація**

Досліджена можливість використання синхронного фільтра в якості слідкуючого фільтра в пристроях тактової синхронізації при виконання наступних умов – повільне відхилення миттєвої частоти сигналу тактової синхронізації і закінчення перехідних процесів в СФ за період часу, протягом якого відбуваються дані відхилення.

**Ключові слова:** тактова синхронізація, синхронний фільтр, слідкуючий фільтр.

#### **Аннотация**

Исследована возможность использования синхронного фильтра в качестве следящего фильтра в устройствах тактовой синхронизации при соблюдении следующих условий – медленное отклонение мгновенной частоты сигнала тактовой синхронизации и окончания переходных процессов в СФ за период времени, в течение которого происходят данные отклонения.

**Ключевые слова:** тактовая синхронизация, синхронный фильтр, следящий фильтр.

#### **Abstract**

The possibility of using synchronous filter (SF) as a tracking filter in devices of clock synchronization was researched which provided the following conditions – slow deviation of the instantaneous clock frequency on clock frequency and the end of the transition process in SF for the period of time during which there occurred such deviations.

**Keywords:** clock synchronization, synchronous filter, following filter.